

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Maedel, Nicole**

## **Hydraulische Auswirkungen auf Böschung und Sohle aus der Fahrt des 135-Meter-Schiffs**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102052>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Maedel, Nicole (2011): Hydraulische Auswirkungen auf Böschung und Sohle aus der Fahrt des 135-Meter-Schiffs. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Verkehrswasserbauliche Untersuchungen zum Neckarausbau. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 9-13.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Hydraulische Auswirkungen auf Böschung und Sohle aus der Fahrt des 135-m-Schiffes

Dipl.-Ing. Nicole Maedel, Dipl.-Ing. Andreas Orlovius, Dipl.-Ing. Carolin Gesing,  
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Im Zuge der erforderlichen Grundinstandsetzung der Schleusenanlagen wurde entschieden, die Bundeswasserstraße Neckar für 135 m lange Großmotorgüterschiffe (üGMS) auszubauen. Nach Untersuchungen der BAW ist die Befahrung des Neckars mit üGMS in der Streckenfahrt im Grundsatz gegeben (siehe /1/), denn der Neckar ist bis auf wenige Stellen ausreichend breit, um die Fahrt der vergrößerten Fahrzeuge zumindest im Richtungsverkehr zu ermöglichen.

Im Regelfall sind deshalb, neben ohnehin erforderlichen Ertüchtigungen der bestehenden Ufersicherungen für die bisher verkehrenden Fahrzeuge, im Zuge des Ausbaus für das üGMS keine weiteren Sohl- und Uferstabilisierungsmaßnahmen in der Strecke vorgesehen. Dennoch ist nach Erfahrungen in anderen Wasserstraßen, in denen größere Fahrzeuge zugelassen wurden, nicht auszuschließen, dass von 135-m-Schiffen größere hydraulische Belastungen ausgehen als von heute zugelassenen Fahrzeugen und deshalb Maßnahmen (z.B. Fahrrinnenverlegungen und -optimierungen, Geschwindigkeitsbeschränkungen auf bestimmten Streckenabschnitten oder bautechnische Maßnahmen im Betrieb der Wasserstraße) auch in der Strecke erforderlich werden könnten.

Im Vortrag werden die aus der Fahrt des üGMS resultierenden hydraulischen Belastungen auf Ufer und Sohle beispielhaft an zwei der insgesamt sechs untersuchten ökologisch bedeutsamen Querschnitte vorgestellt und Maßnahmen zur Reduzierung der erhöhten Belastungen aufgezeigt. Grundlage dieser vergleichenden Betrachtung zwischen dem Vergleichszustand „hydraulische Belastung durch das GMS“ und dem Ausbauzustand „hydraulische Belastung durch das üGMS“ sind umfangreiche Auswertungen von Naturversuchen sowie Prognoserechnungen mit dem Programm GBBSOFT<sup>1</sup>. Bei den Untersuchungen werden Belastungen aus Einzelfahrten der derzeitigen und zukünftigen Flotte betrachtet, da sich die Belastungen aus der Einzelfahrt im Regelfall als bemessungsrelevant erweisen, denn Begegnungen werden z.B. aus Sicherheitsgründen mit reduzierter Schiffsgeschwindigkeit durchgeführt und sind auch in den hier betrachteten Bereichen aus fahrdynamischen Gründen nicht möglich.

---

<sup>1</sup> Mitteilungsblatt Nr. 87, Mai 2004; „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ (GBB) bzw. „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ (GBB 2010); überarbeitete Version.

Zur Abschätzung der hydraulischen Belastungen der Uferbereiche in den untersuchten Querschnitten wurde auf umfangreiche Naturdaten zurückgegriffen. Dies ist notwendig, weil zwar die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Schiffstyp, Abladung, Schiffsgeschwindigkeit und Belastungen bekannt sind, aber kaum einzuschätzen war, mit welcher Geschwindigkeit und auf welcher Kursachse üblicherweise verkehrt wird. Beispielsweise dürfen die Fahrzeuge gemäß derzeitiger Regelung (zulässige Schiffsgeschwindigkeit von 16 km/h über Grund) in der Bergfahrt in engen Querschnitten mit kritischer Schiffsgeschwindigkeit fahren, ein Fahrzustand, der die größten Uferbelastungen verursacht. Würden die hydraulischen Belastungen somit auf Grundlage der zulässigen Schiffsgeschwindigkeit ermittelt, ergäben sich unrealistisch große Werte, denn die Schiffsführer vermeiden i. d. R. den kritischen Schiffsgeschwindigkeitsbereich, da die erforderliche Motorleistung und damit der Spritverbrauch deutlich ansteigt.

Um die Fragen nach der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit oder dem tatsächlich vorliegenden Uferabstand beantworten zu können, sind daher Naturuntersuchungen zur Absicherung der Randbedingungen für die anschließende hydraulische Berechnung für GBBSOft unbedingt erforderlich. Die benötigten Informationen wie Geschwindigkeiten über Grund, Kursachse und Verkehrsfläche wurden für derzeit verkehrende Fahrzeuge aus GPS-Dauermessungen der Schiffsposition auf Fahrzeugen, die regelmäßig den Neckar befahren, abgeleitet. Für das 135-m-Schiff konnten erste Informationen aus einer Versuchsfahrt auf dem Neckar mit einem 140 m langen Verband, der geometrisch und fahrdynamisch nahezu einem üGMS entsprach, gewonnen werden (siehe Bild 1).



*Bild 1: Versuchsverband bestehend aus dem SSB Vogel Gryff (34,85 m x 7,0 m) und dem GMS Hanna Krieger (105 m x 10,5 m x 2,7 m)*

Auf Basis dieser Eingangsdaten wurden die zu erwartenden hydraulischen Belastungen von Böschung und Sohle für die derzeit (105 m langen) und zukünftig verkehrenden (135 m langen) Fahrzeugen mittels der Software GBBSOFT berechnet. GBBSOFT ermittelt Belastungen auf Uferböschungen, die aus dem Primär- und Sekundärwellenfeld von typischen Binnenfahrzeugen (z.B. Motorgüterschiff, Schubverband, Sportboot) in stationärer Fahrt in einem prismatischen, trapezförmigen Gewässerquerschnitt resultieren. Belastungen auf Sohle und Uferböschungen aus dem Schraubenstrahl des Hauptantriebs und einem Bugstrahlruder (propulsionsbedingte Belastungen) können für Manöversituationen (u. a. Anfahr-, Stopp- und Wendemanöver mit vernachlässigbarer Schiffsgeschwindigkeit) bei beliebiger Strahlrichtung errechnet werden.

Aus den schiffsinduzierten Belastungen wie Rück- und Wiederauffüllungsströmung sowie Schraubstrahl und Heckwellenhöhe errechnet GBBSOFT die erforderliche Einzelsteingröße eines losen Schüttsteindeckwerks, um die Oberflächenerosion der Deckwerksteine zu vermeiden oder zumindest stark zu begrenzen.

Die Berechnungsgrundlagen in GBBSOFT sind auf die Kanalfahrt zugeschnitten. Sie gelten näherungsweise auch für weitere Gewässer mit nahezu prismatischen Querschnitten, wie dies für den Neckar unterstellt werden kann. Bei vergleichender Anwendung von GBBSOFT für Ausbau- und Ist-Zustand eliminieren sich die Ungenauigkeiten zum Teil wieder, so dass die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Frage, ob größere oder kleinere Belastungen durch das üGMS auftreten, als präzise einzustufen sind. Die absolute Größe der Belastungen wird dagegen von GBBSOFT i. d. R. überschätzt. Dies liegt daran, dass GBBSOFT eine Bemessungssoftware für Deckwerke ist und deshalb stets größtmögliche Belastungen errechnet werden.

Es erfolgte stets eine vergleichende Betrachtung zwischen den derzeit verkehrenden größten Fahrzeugen (GMS mit 105 m Länge) und dem 135-m-Schiff. Für 105 m lange Fahrzeuge wurden hierbei unterschiedliche Motorisierungen betrachtet. Im sog. Vergleichsfall 1 beträgt die Motorisierung des GMS 850 kW, im Vergleichsfall 2 1200 kW. Für das üGMS wurde eine Motorisierung von 1600 kW angesetzt. Der sog. Ausbaufall 1 entspricht hinsichtlich der Randbedingungen für die Befahrbarkeit des Neckars den beiden genannten Vergleichsfällen, d.h. die üGMS fahren bezüglich der Schiffsgeschwindigkeiten wie die GMS im Ist-Zustand, aber mit größerer installierter Motorleistung und maximal mit der zulässigen Schiffsgeschwindigkeit von 16 km/h über Grund. Mit einem weiteren Ausbaufall 2 sollen die Auswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen für das üGMS untersucht werden. Es wird angenommen, dass bei der Fahrt des üGMS an den ökologisch bedeutsamen Bereichen eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 10 km/h über Grund (beladen) und 12 km/h (unbeladen) zu Berg bzw. 12 km/h (beladen) und 14 km/h (unbeladen) zu Tal ausgesprochen und auch eingehalten wird. Diese Werte sind signifikant kleiner als die heute zugelassenen 16 km/h und helfen somit, ggf. größere Belastungen des üGMS aufzufangen, sollten sich im Betrieb der Wasserstraße mit üGMS vermehrt Schäden zeigen. Als Vergleichswert der Schiffsgeschwindigkeit wurden 90 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit, die von einem Binnenschiff i. d. R. nicht überschritten werden, angesetzt. Dieser Prozentsatz wurde anhand der oben be-

schriebenen Naturmessungen abgeleitet und entspricht der üblichen Fahrweise am Neckar und anderen deutschen Binnenwasserstraßen.

Um das Spektrum der zu erwartenden hydraulischen Belastungsgrößen zu erfassen wurden der Wasserstand (MNW, MW, HSW), die Fahrposition, die Abladetiefe (Leerfahrer, voll abgeladene Fahrzeuge), der  $c_F$ -Wert und damit die nautischen Eigenschaften sowie die Fahrtrichtung variiert. Die Beurteilung und der Vergleich der Uferbelastungen erfolgte anhand der berechneten Kenngrößen Heckwellenhöhe  $H_{u,Heck}$ , Absunk am Ufer  $\Delta h$ , Rückströmungsgeschwindigkeit  $v_{Rück}$  und Wiederauffüllungsströmung  $u_{max}$ .

Die Untersuchungen in den sechs ausgewählten Querprofilen haben gezeigt, dass die Ergebnisse sehr stark von den vorhandenen Querschnittsverhältnissen abhängen. Daher sind i. d. R. Einzeluntersuchungen zur Bewertung der hydraulischen Belastung durch das üGMS erforderlich. Folgende grundsätzliche Aussagen können jedoch aus den durchgeführten Untersuchungen abgeleitet werden:

- In weitgehend geradlinig verlaufenden oder nur leicht gekrümmten Flussabschnitten werden sich die Belastungsgrößen durch die Fahrt des üGMS voraussichtlich nicht signifikant erhöhen. Die Dauer, in der die Rückströmungsgeschwindigkeit wirkt, vergrößert sich jedoch entsprechend der Länge des 135-m-Schiffs (bei gleicher Schiffsgeschwindigkeit um rund 1/3 längere Einwirkdauer) gegenüber heutigen GMS. Entsprechendes gilt für den Wasserspiegelabsunk.
- Signifikante Erhöhungen sind in engen Kurven am Außenufer zu erwarten, da das Heck des üGMS bei betriebsüblicher Fahrweise dem Ufer hier näher kommt als die derzeitig verkehrenden Fahrzeuge. Diese Erhöhungen werden dadurch verstärkt, dass, ein entsprechend großer Querschnitt vorausgesetzt, vom üGMS aufgrund der stärkeren Motorisierung höhere Geschwindigkeiten erreicht werden können als von heutigen GMS. Dann können rechnerisch Erhöhungen der Heckwellenhöhen (+15 bis 20 cm), des Absunkes (+5 bis 10 cm) sowie der Wiederauffüllungsströmung (+0,4 m/s) auftreten.
- An den Innenufern ist, durch die Fahrt des üGMS, grundsätzlich nur mit einer – aus hydraulischer Sicht – geringen Erhöhung der Heckwellenhöhen von ca. 5 bis 10 cm zu rechnen. Die Absunkwerte am Ufer verhalten sich entsprechend. Die Wiederauffüllungsströmungen steigen an den Innenufern nur geringfügig an.
- Die Rückströmungsgeschwindigkeiten steigen durch das üGMS typischerweise um rd. 0,2 m/s an und sind nahezu über die gesamte Gewässerbreite wirksam. Dies gilt gleichermaßen für gerade und kurvige Streckenabschnitte.
- Geschwindigkeitsbeschränkungen, die im Betrieb der Wasserstraße notwendig werden könnten, sind insbesondere in solchen Bereichen wirksam, in denen der Schifffahrt ein großer Querschnitt permanent oder temporär (d.h. z.B. nur bei HSW) zur Verfügung steht. Die möglichen Schiffsgeschwindigkeiten ( $v_{krit}$ ) sind hier deutlich erhöht und können vom üGMS aufgrund der guten Motorisierung i. d. R. auch erreicht werden. Eine Begrenzung der Schiffsgeschwin-

digkeiten im Betrieb würde daher in diesen Bereichen auch zu einer deutlichen Reduzierung der Uferbelastung führen, die dort auf das derzeitige Niveau gesenkt werden könnte.

- In engen Querschnitten sind die kritischen und damit möglichen Schiffsgeschwindigkeiten entsprechend klein, so dass die zulässigen Schiffsgeschwindigkeiten u. U. gar nicht erreicht werden können. Eine Geschwindigkeitsbeschränkung im hier vorgeschlagenen Umfang ist somit in diesen Bereichen kaum zielführend. Hier sind bautechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastung sinnvoll, auch weil eine Fahrrinnenverlegung in Krümmungsbereichen bei den vorhandenen Fahrwasserverhältnissen aus fahrdynamischen Gründen nicht empfohlen werden könnte.
- Die propellerinduzierten Strahlgeschwindigkeiten an der Sohle hängen stark vom vorhandenen Flottwasser ab. In zwei der sechs betrachteten Querschnitte beträgt das Flottwasser weniger als 1 m. In diesen Profilen (Ne-km 90,6 und 147,7) wurden für die derzeit verkehrenden Fahrzeuge maximale propellerinduzierte Strahlgeschwindigkeiten an der Sohle von 2,5 m/s errechnet. Durch das üGMS erhöht sich dieser Wert auf bis zu 3,0 m/s. Somit werden in bestimmten Neckarabschnitten heute schon aufgrund der schiffsinduzierten Strömungen und Sohlgeschwindigkeiten während der Schiffspassage Sedimente aufgewirbelt und dadurch die Trübung durch die Schifffahrt erhöht.

## Literatur

- /1/ Gutachten zur Befahrbarkeit des Neckars mit 135 m langen Schiffen, Bundesanstalt für Wasserbau, Eigenverlag, Karlsruhe 2007
- /2/ „Vergleich der hydraulischen Belastung auf Böschung und Sohle aus der Fahrt von 135 m (üGMS) und 105 m (GMS) langen Schiffen am Neckar für ausgewählte Querprofile“; BAW-Gutachten; Mai 2011